УДК 621.311.6

УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ОТ ИМПУЛЬСНЫХ КОММУТАЦИОННЫХ ПОМЕХ В БОРТОВЫХ СЕТЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

А.Т. Потапов, В.В. Шкоркин, А.Н. Селяев

ФГУП Научно-производственный центр «Полюс», г. Томск
E-mail: polus@online.tomsk.net

Рассмотрено устройство защиты радиоэлектронной аппаратуры от импульсных коммутационных помех большой энергии, возникающих в разветвленных системах питания постоянного тока. Устройство обеспечивает непрерывность питания защищаемого потребителя при возникновении в бортовой сети импульсных коммутационных помех, при этом энергия мощных помех не рассеивается в тепло, а используется для питания нагрузки. Даны практические рекомендации по увеличению нагрузочной способности устройства защиты.

В бортовых системах электроснабжения с разветвлённой сетью потребителей (например судовые и самолетные сети электроснабжения) в ходе работы электротехнического и радиоэлектронного оборудования возникают перенапряжения длительностью до 4 мс и амплитудой до 1 кВ. Эти перенапряжения называются импульсными коммутационными помехами (ИКП), которые могут существовать в виде одиночного импульса или повторяющейся последовательности импульсов, а также в виде гармонического или шумового непрерывного процесса [1, 2]. При воздействии мощной помехи возможны необратимые отказы аппаратуры, в первую очередь, из-за изменения структуры полупроводниковых материалов вплоть до их частичного или полного разрушения. Поэтому невозможно обеспечить длительный срок службы приборов (несколько десятков тысяч часов непрерывной работы), не защищая их от воздействия ИКП.

При компактном размещении радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) и мощного электротехнического оборудования на подвижных объектах помехи распространяются не только кондуктивным путём, но и через электромагнитное поле. Необходимость защиты от ИКП особенно актуальна при эксплуатации сложных и дорогостоящих технических средств, к которым предъявляются повышенные требования по устойчивости к импульсным помехам (исключение несанкционированных срабатываний, отказов и других нарушений работоспособности).

Существует несколько способов защиты РЭА от ИКП, например использование ограничителей напряжения, варисторов, пассивных *RC*- и *LC*-фильтров. Однако ограничители напряжения и варисторы рассчитаны на определённое количество поглощаемых импульсов, что является их существенным недостатком. Более того, при большой энергии ИКП и мощной нагрузке пассивные *RC*-фильтры становятся слишком громоздкими для компактной бортовой аппаратуры. Аналог описываемого устройства защиты от ИКП был выполнен по комбинированной схеме, содержащей пассивные *LC*-фильтры и активное звено на тиристорах [3]. При возникновении ИКП быстродействующий высоковольтный ключ на запираемых тиристорах отключал нагрузку от сети питания, а энергия импульса гасилась разрядной цепью.

Устройство защиты, функциональная схема которого приведена на рис. 1, отличается от своего аналога тем, что защищаемый потребитель не отключается от электросети во время воздействия ИКП и энергия импульса не гасится специальными разрядными цепями, а передаётся пачками импульсов в цепь нагрузки. Оно выполнено на широко распространённой отечественной элементной базе и имеет следующие электрические параметры:

- входное напряжение $U_{вх}$=160...360 В (предельное – от 150 до 400 В);
- мощность нагрузки до 3 кВт;
- падение напряжения вход-выход не более 6 В при токе нагрузки 10 А;
- амплитуда импульса ИКП $U_{имп}$=±1000 В при длительности импульса до 4 мс на уровне $0{,}5U_{имп}$.

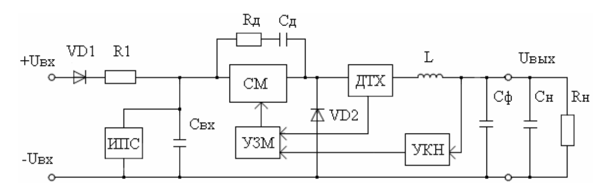


Рис. 1. *Функциональная схема устройства защиты от ИКП: ИПС – служебный источник питания (низковольтные цепи питания функциональных узлов устройства не показаны); СМ – силовой IGBT-модуль; УЗМ – устройство запуска модуля; ДТХ – датчик тока Холла; УКН – устройство контроля напряжения; $R_д$, $C_д$ – демпфирующая цепь*

Устройство представляет собой понижающий релейный стабилизатор напряжения. После подачи входного напряжения, через 10...20 мс (в зависимости от значения $U_{вх}$), служебный источник питания (ИПС) выходит на режим, открывается силовой модуль (СМ), через дроссель L начинают протекать ток нагрузки и ток заряда конденсаторов $C_ф$ и $C_н$ (момент t_0, рис. 2).

Выходное напряжение с ДТХ поступает на устройство запуска модуля (УЗМ), и при достижении установленного порога срабатывания компаратор выключает СМ, ток дросселя начинает спадать, а при снижении его до заданного нижнего порога компаратора снова включает модуль. Порог срабатывания $I_{Lмакс}$ устанавливается таким, чтобы ток дросселя не превышал значения номинального измеряемого тока датчика ДТХ.

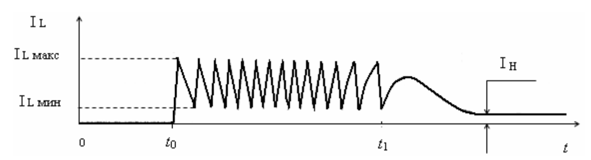


Рис. 2. *Ток дросселя L при переходных процессах*

Порог отпускания $I_{L\text{мин}}$ должен быть установлен выше максимального значения тока нагрузки во всём диапазоне входного напряжения. К моменту времени t_1 конденсаторы $C_ф$ и $C_н$ полностью заряжаются, через дроссель протекает постоянный ток $I_н$, определяемый мощностью подключенной нагрузки, и устройство переходит в дежурный режим работы.

Временной интервал t_0–t_1, определяемый суммарным ($C_\Sigma = C_ф + C_н$) значением ёмкости конденсатора фильтра $C_ф$ и входной ёмкостью нагрузки $C_н$, составляет 5...6 мс.

Возникающая в сети питания ИКП накладывается на напряжение бортовой сети $U_{вх.ном}$ и суммируется с ним (рис. 3, *а*).

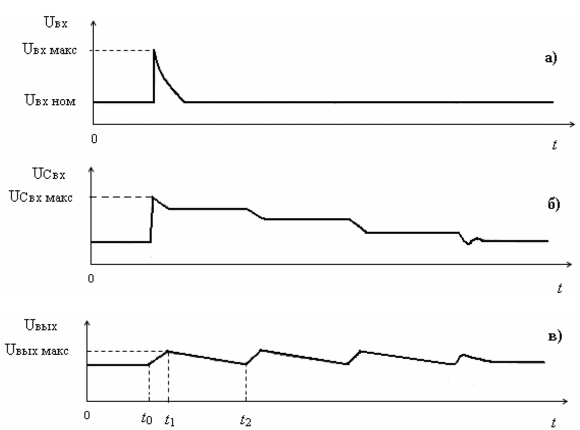


Рис. 3. *Осциллограммы напряжений при воздействии ИКП: а) на входе устройства защиты; б) на конденсаторах входного фильтра; в) на выходе устройства*

При этом энергия импульса подзаряжает конденсаторы входного фильтра $C_{вх}$ (рис. 3, *б*). Одновременно начинает возрастать ток дросселя L (рис. 2, момент t_0), что приводит к запуску релейного стабилизатора, принцип работы которого был описан выше.

Поскольку у используемого IGBT-модуля предельное напряжение $U_{к.э}$=1,2 кВ, а значение напряжения $U_{вх.макс}$ может достигать 1,4 кВ, на входе устройства защиты установлен фильтр $R1$, $C_{вх}$ (см. рис. 1). Резистор $R1$ ограничивает бросок тока заряда конденсатора $C_{вх}$ при подаче питания на вход устройства защиты. Значение сопротивления резистора $R1$, которое составляет доли Ом, ограничено заданным падением напряжения вход-выход устройства защиты. Минимальное значение ёмкости конденсатора $C_{вх}$ должно быть таким, чтобы при воздействии самой мощной помехи и минимальном токе нагрузки напряжение $U_{C_{вх.макс}}$ (рис. 3, *б*) не превышало 1...1,1 кВ. Диод VD1 (рис. 1) защищает потребителя и само устройство от ИКП отрицательной полярности, которое на практике чаще всего проявляется в провале напряжения бортовой сети до нуля. При использовании устройства для защиты от длительных провалов напряжения ёмкость конденсатора $C_{вх}$ необходимо увеличить.

На временном интервале t_0–t_1 (рис. 3 и 4) ключ СМ открывается периодически и передаёт часть запасённой энергии конденсатора $C_{вх}$ в нагрузку. Выходное напряжение устройства нарастает до максимального значения $U_{вых.макс}$ (рис. 3, *в*), которое не должно превышать предельного значения, выдерживаемого потребителем, и составляет в данном случае 400 В. Устройство контроля напряжения (УКН) отслеживает изменение напряжения на нагрузке и управляет работой УЗМ. Порог напряжения срабатывания компаратора в УКН устанавливается на 5...10 В меньше значения Uвых.макс, а порог отпускания – на 5...10 В больше максимального значения $U_{вх.ном}$. На временном интервале t_1–t_2 (рис. 3) СМ выключен, конденсаторы $C_ф$ и $C_н$ разряжаются через сопротивление нагрузки. Временной интервал t_1–t_2, как и длительность процесса парирования ИКП t_0–$t_к$ (рис. 4, *б*), существенно зависит от тока нагрузки.

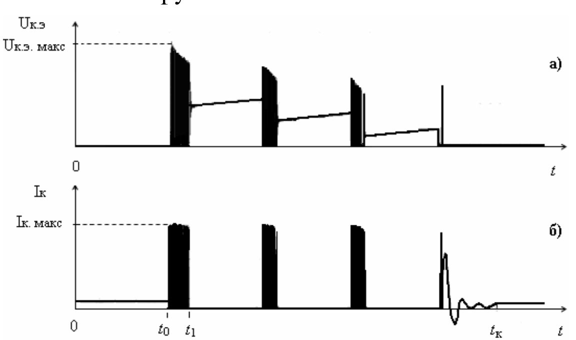


Рис. 4. *Пачки импульсов напряжения и тока силового модуля: а) напряжение коллектор-эмиттер $U_{к.э}$; б) ток коллектора $I_к$*

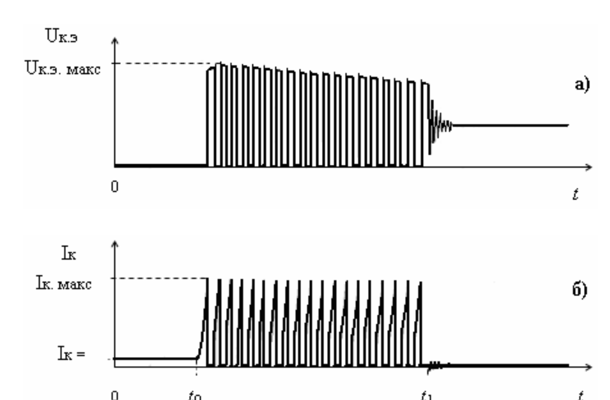


Рис. 5. *Растянутая во времени первая пачка импульсов: а) напряжение $U_{к.э}$; б) ток коллектора $I_к$ силового модуля*

Например, при токе нагрузки 10 А после воздействия ИКП амплитудой 1000 В и длительностью 4 мс выходное напряжение восстанавливается до исходного значения через 45 мс (интервал t_0–$t_к$ на рис. 4), а

при токе нагрузки 0,2 А процесс поглощения помехи растягивается до 1,3 с. При этом увеличивается количество пачек импульсов тока коллектора СМ.

Рабочая частота релейного стабилизатора ограничена частотными свойствами СМ и определяется индуктивностью дросселя L и суммарной ёмкостью C_Σ. Дроссель L намотан медной шиной на торе из диэлектрика. При использовании СМ с диодом, например модуля серии МТКИД, диод VD2 из схемы исключается, поскольку он входит в состав модуля [4]. Мощность защищаемой нагрузки определяется типом используемого модуля и датчика Холла.

На рис. 5 приведены осциллограммы растянутой во времени первой пачки импульсов тока $I_к$ и напряжения $U_{к.э}$ силового модуля. Временные интервалы t_0–t_1, указанные на рис. 3–5, соответствуют друг другу.

Таким образом, предлагаемое устройство защиты радиоэлектронной аппаратуры от импульсных коммутационных помех большой энергии обеспечивает непрерывность питания, защищает потребителя от всплесков и провалов напряжения бортовой сети, причём энергия мощных импульсных помех не рассеивается в дополнительное тепло, а передаётся в нагрузку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51317.4.5–99. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. Требования и методы испытаний. – М.: Госстандарт РФ, 1999. – 42 с.
2. Кармашев В.С. Электромагнитная совместимость технических средств: Справочник. – М.: Издательский дом "Технологии", 2001. – 401 с.
3. Большанин В.П., Козлов К.В., Жаркова С.В. Способ защиты РЭА от импульсных перенапряжений // Системы автономного электроснабжения и электромеханические устройства: Сб. науч. трудов НПО «Полюс» / Под ред. П.В. Голубева и А.И. Чернышева. – Томск, 1992. – Т. 1. Аппаратура управления и преобразования энергии. – С. 163–166.
4. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники. – Изд. 2-е, испр. и доп. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 664 с.

УДК 621.384.001.63